

논문 2011-2-1

300GHz 대역 1.5Gbit/s 무선 데이터 전송 시스템 구현

Implementation of An 1.5Gbit/s Wireless Data Transmission System at 300GHz Band

이원희*, 정태진*

Won-Hui Lee, Tae-Jin Chung

요 약 300GHz 대역의 캐리어 주파수를 이용하여 1.5Gbit/s 무선 데이터 전송 시스템을 구현하였다. RF Front-end는 송수신기 각각 쇼트키 다이오드 서브하모닉 믹서, 주파수 3배기, 혼안테나로 구성하였다. 송신기 및 수신기에 사용된 서브하모닉 믹서의 LO 주파수는 각각 150GHz, 156GHz이다. 변조방식은 ASK(Amplitude Shift Keying)이며, 수신기에서는 헤테로다인 방식의 Envelope 검출 방식을 사용하였다. 서브하모닉 믹서의 변환 손실은 9.8dB, 시스템 손실은 1.2dB로 측정되었다. HD-SDI 형식을 갖는 1.5Gbit/s 비디오 신호를 송신기 출력 20 μ W에서 광학 렌즈 없이 40cm까지, 광학 렌즈를 포함하여 4.2m까지 HDTV로 전송하였다.

Abstract In this paper, an 1.5Gbit/s wireless data transmission system using the carrier frequency of 300 GHz band was implemented. The RF front-end was composed of schottky diode sub-harmonic mixer, frequency tripler, and horn antennas for transmitter and receiver, respectively. The LO frequencies of sub-harmonic mixer are 150GHz for transmit chain and 156GHz for receive chain. The ASK(Amplitude Shift Keying) modulation was used in the transmitter and the envelope detection method was used in the heterodyne receiver. The conversion loss of sub-harmonic mixer and implementation system loss were measured to be 9.8dB and 1.2dB, respectively. The 1.5Gbit/s video signal with HD-SDI format was transmitted over wireless distance of 40cm without optical lens(4.2m with optical lens) and displayed on HDTV at the transmitted average output power of 20 μ W.

Key Words : Wireless Data Transmission, Sub-harmonic Mixer, Heterodyne Receiver, 1.5Gbit/s

I. 서 론

초기의 THz 송수신기는 미국 캘리포니아 대학의 E. R. Brown이 1999년 광믹싱(Photo Mixing)에 의하여 수십 Gbps의 데이터를 전송하는 개념을 제안하였다^[1]. 초광대역폭을 이용하는 송수신기의 개념은 오랫동안 연구되지 않고 정체되어 왔으며 THz 송신기를 소형화하거나 헤테로다인 시스템을 구동하기 위한 LO 신호발생기에서 내재적인 문제로 상용 시스템 개발이 이루어지지 않았지

만 그 이후 새로운 반도체 소자들이 개발되어 이를 이용한 THz 송수신기가 개발되기 시작하였다^{[2],[3]}.

THz 대역에서의 최초의 무선전송 실험은 2004년 독일의 Braunschweig 대학에서 수행되었다^[4]. 적외선광의 펄스 레이저 펄스를 이용하여 최대 1m 거리까지 오디오 신호를 전송하였고, 본 실험을 확장하여 동 대학의 테라헤르츠통신실험실(TCL)에서는 300GHz 캐리어 주파수에서 RF 부품들을 이용하여 송수신기를 구성하고 6MHz 대역폭을 갖는 아날로그 비디오 신호를 10m까지 전송하였다^[5]. 일본의 NTT는 2005년 125GHz 대역을 이용하여 옥외에서 10Gbps HDTV 비디오 신호 전송 시연

*정회원, 한국전자통신연구원(ETRI)

접수일자: 2011.1.17, 수정일자: 2011.3.10

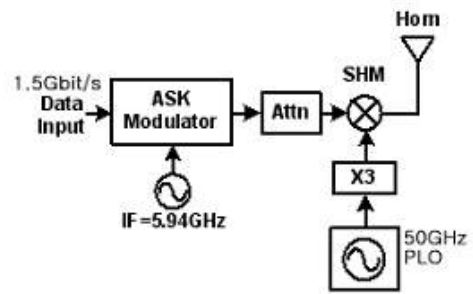
게재확정일자: 2011.4.15

을 하였고, 전송거리는 200m였다^[6]. 개발된 시스템은 송신기에 광학 기술을 적용하였다. 포토 믹싱 방법으로 낮은 THz 캐리어 신호를 발생시키고, 10Gbps의 데이터 신호를 ASK 변조방식에 의해 광의 강도(Intensity)를 변조한 후 광 증폭기로 증폭하고 광전변환(O/E)을 통해 안테나로 전송된다. 수신기는 모두 전자방식으로 구성되고 Envelope 검출 방식으로 복조 기능을 한다. THz 대역의 단거리 무선통신시스템에 대한 연구는 현재 Braunschweig 대학을 중심으로 독일이 가장 활발한 연구 결과를 보이고 있다. 이들이 저널에 발표한 논문의 대다수는 옥내 통신시스템에 적용하기 위한 채널 모델 및 시스템 레벨의 무선 링크 시뮬레이션 연구가 주류를 이루고 있다. 이들의 주 관심 주파수는 300GHz 및 350GHz 대역이며, 이 대역에서 가용한 대역폭은 47GHz로 계산하였다^[7].

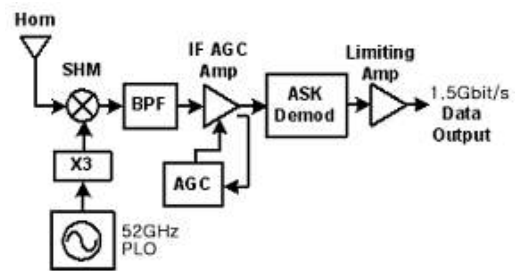
본 논문은 캐리어 주파수 300GHz 대역을 이용하여 1.5Gbps 무선 데이터 전송 시스템을 구현하였다. 송신기 및 수신기 서브하모닉 믹서의 LO 주파수는 각각 150GHz, 156GHz이고 송신기는 50 GHz, 수신기는 52 GHz의 PLO 모듈의 출력을 주파수 3배기에 의해 발생시켰으며, IF 주파수는 5.94GHz이다. 변조 방식은 ASK(Amplitude Shift Keying)이며, 수신 신호의 복원은 IF 대역에서 쇼트키 다이오드를 이용한 Envelope Detection에 의하여 이루어진다.

II. 300GHz 송수신 시스템의 구조

300GHz 송수신기의 블록도는 그림 1과 같다. 송신기는 이중 변환(Double Conversion) 구조를 사용하였으며 IF 주파수는 5.94GHz이다. RF Front-end는 서브하모닉 믹서, 주파수 3배기(Tripler), 대각선 혼(Diagonal Horn) 안테나로 구성된다. 혼 안테나의 이득은 25dBi이고, 3dB 빔 폭은 10°이다. 서브하모닉 믹서의 LO 주파수는 RF 주파수의 1/2이며 변환 손실(Conversion Loss)은 9.8dB, 시스템 구현 손실은 1.2dB로 측정되었다. 수신기는 헤테로다인 방식을 사용하였다.



(a) 송신기의 블록도



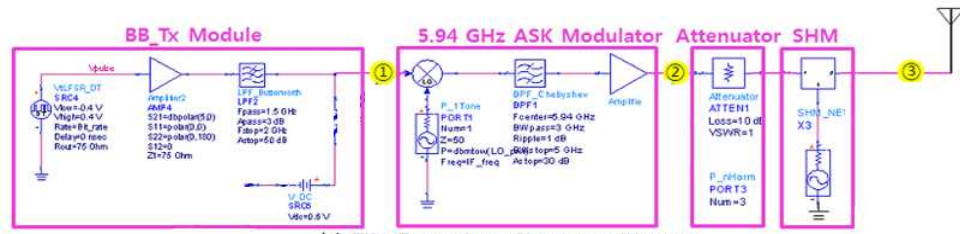
(b) 헤테로다인 수신기의 블록도

그림 1. 300GHz 송수신기의 블록도

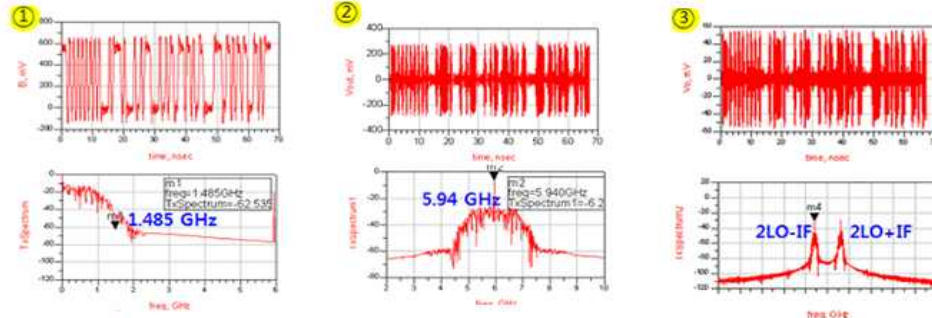
Fig. 1. Block diagram of 300GHz transmitter and receiver

III. 300GHz 송수신기 시뮬레이션

그림 2는 ADS 시뮬레이션에 의한 송신기의 성능을 분석한 결과이다. ASK Modulator에서는 5.94GHz의 IF 주파수로 전송 신호를 변조하고, 송신 서브하모닉 믹서(SHM)와 혼안테나의 송신단에는 $2LO \pm IF$ 신호가 송신된다. 송신 서브하모닉 믹서의 LO 주파수는 150GHz이며, 최종 송신된 RF 신호는 294.06GHz와 305.94GHz이다. 그림 3에는 300GHz 대역의 진폭 변조 신호를 수신하기 위한 헤테로다인 수신기의 ADS 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 수신 서브하모닉 믹서의 LO 주파수는 156GHz이며, 서브하모닉 믹서는 $2LO - RF$ 신호 주파수인 6.06GHz와 17.94GHz의 양측대파(DSB) IF 신호를 수신하고, 다음단의 대역통과필터(BPF)는 IF 주파수 중 17.94GHz를 제거하고, 6.06GHz 신호만 수신하여 Envelope Detector와 Limiter에서 최종 수신된 데이터 신호를 송신된 원래의 신호로 복원한다.



(a) THz Transmitter Simulation Diagram

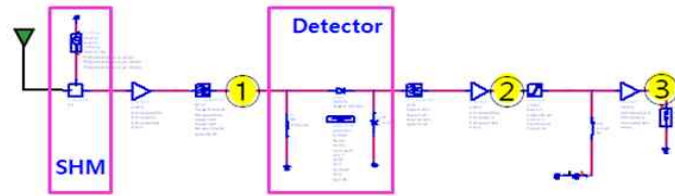


(b) Base-band Waveform&Spectrum

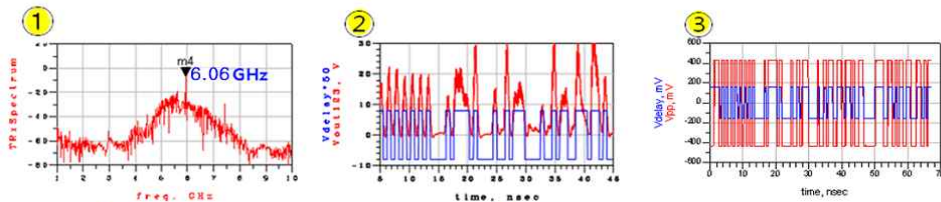
(c) ASK Modulated Waveform&Spectrum

(d) Transmitted Waveform&Spectrum

그림 2. 300GHz 송신기의 성능 시뮬레이션
Fig. 2. Performance simulation of 300GHz transmitter



(a) Heterodyne Receiver Simulation Diagram



(b) ①번 위치에서의 수신 Spectrum

(c) ②번 위치에서의 수신 Waveform

(d) ③번 위치에서의 최종 수신 Waveform

그림 3. 헤테로다인 수신기의 성능 시뮬레이션
Fig. 3. Performance simulation of heterodyne receiver

IV. 실험 측정 결과

송신기와 수신기의 PLO(Phase Locked Oscillator)는 각각 50GHz, 52GHz를 사용하여 300GHz 대역의 THz 통신 시스템을 구성하였다. 그림 4는 제작된 50GHz PLO 모듈의 사진이며, 그림 5는 50GHz와 52GHz PLO의 위상 잡음(Phase Noise)을 측정한 결과이다. 50GHz PLO는 10kHz offset 주파수에 -87dBc/Hz의 위상잡음이 측정되

었고, 52GHz PLO는 10kHz offset 주파수에 -84dBc/Hz의 위상잡음이 측정되었다. 송신기에서의 50GHz LO는 주파수 3배기에 의해 150GHz가 되고, 서브하모닉 믹서에 의해 2LO 주파수 즉, 300GHz 주파수가 발생된다. 여기에 $\pm 1F(5.94GHz)$ 신호와 결합하면 294.06GHz와 305.94GHz의 DSB(Double Side Band) 주파수가 혼안테나를 통하여 송신된다.

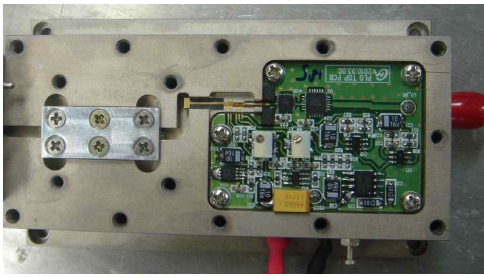
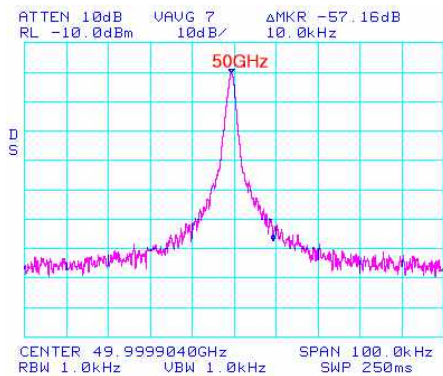
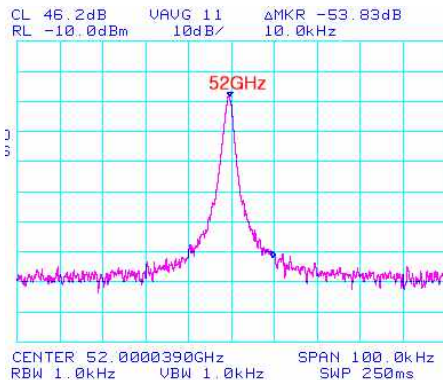


그림 4. 50GHz PLO 모듈
Fig. 4. 50GHz PLO module



(a) 50GHz PLO 모듈의 특성



(b) 52GHz PLO 모듈의 특성

그림 5. PLO 모듈의 Phase Noise
Fig. 5. Phase noise of PLO module

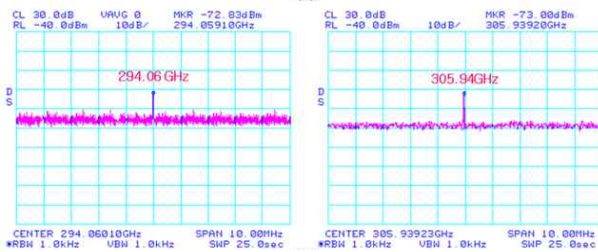


그림 6. 송신기의 DSB 스펙트럼 측정
Fig. 6. Measurement of transmitted DSB spectrum

그림 6은 측정된 송신 신호 주파수 스펙트럼으로 294.06GHz와 305.94GHz의 DSB 주파수가 발생됨을 확인하였다. 송신기 시험을 위해 스펙트럼 분석기는 H-밴드 Extended 모듈을 이용하였고, IF 입력으로 5.94GHz, -10dBm의 CW (Continues Wave)를 인가하였다.

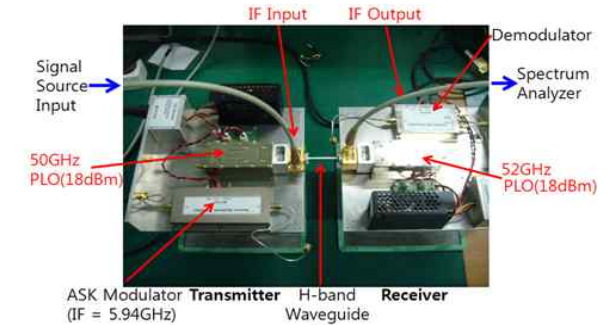


그림 7. 300GHz 송수신시스템
Fig. 7. Transmitter and receiver system at 300GHz

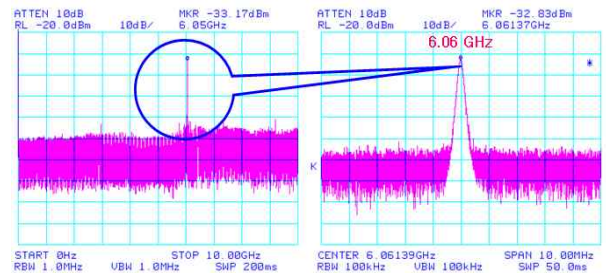


그림 8. 수신 IF 주파수의 측정
Fig. 8. Measurement of received IF frequency

그림 7과 그림 8은 서브하모닉 믹서의 변환 손실을 측정하기 위해 송신 서브하모닉 믹서와 수신 서브하모닉 믹서를 H-밴드 도파관을 이용하여 연결하고, IF 입력으로 5.94GHz, -10dBm의 CW를 인가한 후 수신 IF 주파수와 파워 레벨을 측정한 사진과 결과이다. 그림 8의 우측 그림은 좌측의 톤(Tone) 신호를 확대한 것이다. 송수신 서브하모닉 믹서의 변환 손실은 22.83dB이고, 단일 서브하모닉 믹서의 변환 손실은 11.415dB이다. 이로부터, 9.8dB 손실을 고려하면 시스템 손실은 1.2dB로 계산되며, 서브하모닉 믹서의 데이터 시트에서 240GHz와 300GHz의 서브하모닉 믹서의 손실은 거의 같은 레벨이다. 그림 9는 송신기의 데이터 입력에 300MHz CW 신호를 인가하였을 때의 수신 결과이다. 이 때 5.94GHz의 ASK Modulator는 동작하고 있으며, 측정된 수신 IF 스펙트럼은 6.06 ± 0.3 GHz의 DSB 신호와 6.06GHz의 수신 IF 신호

가 함께 발생되는 것을 확인하였다. DSB 신호의 Upper 밴드와 Lower 밴드 신호의 전력 레벨의 차이는 4.67dB 였다.

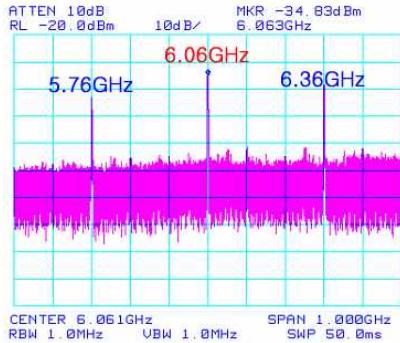


그림 9. 300MHz CW 입력과 IF 신호
Fig. 9. 300MHz CW input and IF signal



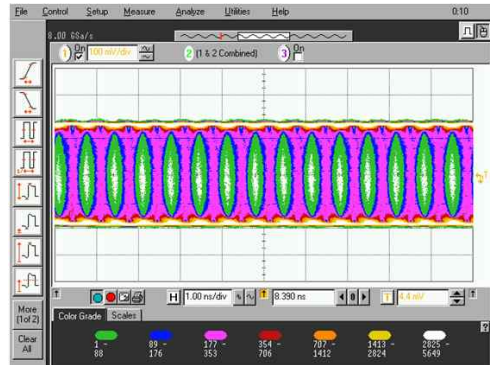
그림 10. 무선 전송 시험을 위한 측정 Set-up
Fig. 10. Measurement Set-up for wireless transmission test

그림 10은 300GHz 무선 전송 시험을 위한 Set-up 사진이며, 링크 거리는 광학 렌즈를 부착하지 않은 상태에서 40cm까지 비디오 신호가 전송되었다. 광학 렌즈를 부착하지 않은 상태에서 거리에 따른 모니터링 전압을 측정한 결과는 표 1에 나타내었다. 수신기의 IF 전력 모니터링 전압 1.283V는 -45dBm의 수신 전력 레벨에 해당되며, 수신기는 -45dBm~-15dBm 범위에서 동작하도록 설계되었다.

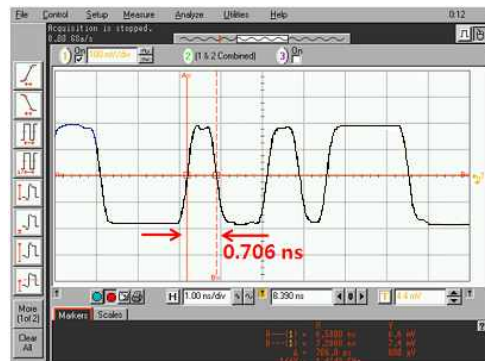
표 1. 무선 링크 거리에 따른 모니터링 전압
Table. 1. Monitoring voltage at wireless link distance

Distance(cm)	Monitor Voltage(V)
1.0	0.87
3.0	0.90
4.0	0.935
6.0	0.966
7.0	1.016
10.0	1.039
18.5	1.167
40.0	1.283

렌즈를 부착하면 4.2m까지 양호한 비디오 신호가 측정되었는데, 그 때의 모니터링 전압은 1.2V였다. 300GHz의 전송은 LOS(Line Of Sight) 정렬이 매우 민감하여 240GHz 시스템에 비해 링크 정렬이 매우 어려운 것이 특징이다. 그림 11은 양호한 비디오 신호를 얻은 최대의 링크 거리에서의 Eye diagram과 수신 NRZ waveform 측정 결과이다.



(a) Eye Diagram



(b) NRZ Waveform

그림 11. 측정된 Eye Diagram 및 NRZ Waveform
Fig. 11. Measurement of eye diagram and NRZ waveform

V. 결 론

본 논문에서는 50GHz, 52GHz PLO와 주파수 3배기를 서브하모닉 믹서의 LO 소스로 사용하여 300GHz 대역의 송수신 시스템을 구현하였다. 300GHz 대역 주파수에서 1.5Gbit/s의 비디오 신호를 송신기에 입력하여 무선으로 전송하고, 수신기에서 HD 비디오 신호로 복원함으로써 시연을 성공적으로 수행하였다. 무선 링크 거리는 광학 렌즈의 사용 없이는 40cm까지 전송 가능하며, 광학 렌즈

를 포함해서는 4.2m까지 HD 비디오 신호를 전송하였다. 테라헤르츠 대역에서 무선 전송 시험을 한 독일, 일본과 동등 이상의 수준이며 국내에서는 최초로 시연하였다. 현재 비압축 HD 비디오의 전송은 3D 방송과 함께 비약적으로 높은 전송 속도를 요구하고 있다. 본 논문에서의 300GHz 대역 1.5Gbit/s, THz 무선 데이터 전송 기술을 바탕으로 향후 10Gbit/s 이더넷(10GbE) 전송 시스템을 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] Peter H. Siegel, "Terahertz Technology", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 50, No. 3, pp. 910-928, Mar. 2002.

[2] H. J. Song et al., "8 Gbit/s wireless data transmission at 250 GHz", *Electronics Letters* 22nd, Vol. 45, No. 22, pp. 1121-1122, Oct. 2009.

[3] T. Nagatsuma, Y. Kado, "Towards 100-Gbit/s wireless using terahertz waves", *2nd*

International Workshop on Terahertz Technology 2009, 2I-C2 (invited talk), Nov. 2009.

[4] T. Kleine-Ostmann, et al, "Audio Signal Transmission over THz Communication Channel using Semiconductor Modulator", *Electronics Letters* 22nd, Vol. 40, No. 2, pp. 124-126, Jan. 2004.

[5] C. Jastrow, et al, "300 GHz Transmission System", *Electronic Letters* 31st, Vol. 44, No. 3, pp. 213-214, Jan. 2008.

[6] Akihiko Hirata, et al, "120GHz Band Millimeter Wave Photonic Wireless Link for 10Gbit/s Data Transmission", *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 54, No. 5, pp. 1937-1944, May 2006.

[7] Radoslaw Piesiewicz, et al, "Short Range Ultra Broadband Terahertz Concepts and Perspective", *IEEE Antenna and Propagation Magazine*, Vol. 49, No. 6, pp. 24-39, Dec. 2007.

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002056, 테라헤르츠 대역 전파환경 및 무선전송 플랫폼 기술연구].

저자 소개

이 원 희(정회원)



- 2000년 건국대학교 전자정보통신공학과, 공학석사
- 2003년 건국대학교 전자정보통신공학과, 공학박사
- 1998년~1999년 건국대학교 전자정보통신공학과, 교육조교
- 1999년 전자부품연구원 고주파재료 연구센터, 위촉연구원

- 2002년~2008년 LG전자 디지털어플라이언스연구소, 책임연구원
- 2008년~2009년 포항공과대학교 전자전기공학과, Post Doc.
- 2009년~현재 한국전자통신연구원, 선임연구원

<주관심분야 : Dielectric Loaded Resonators, Microstrip Antennas, Microwave Plasma Applications, EMI/EMC, Channel Modeling, THz Communication Systems>

정 태 진(정회원)



- 1979년 충남대학교 전자공학과, 공학사
- 1979년~1983년 국방과학연구소, 연구원
- 1983년~1984년 대우중공업(주), 대리
- 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과, 공학석사

- 2004년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과, 공학박사
- 1984년~현재 한국전자통신연구원, 책임연구원

<주관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 RF/IF 시스템 설계, 통신시스템 기저대역(BB) 모델 설계>